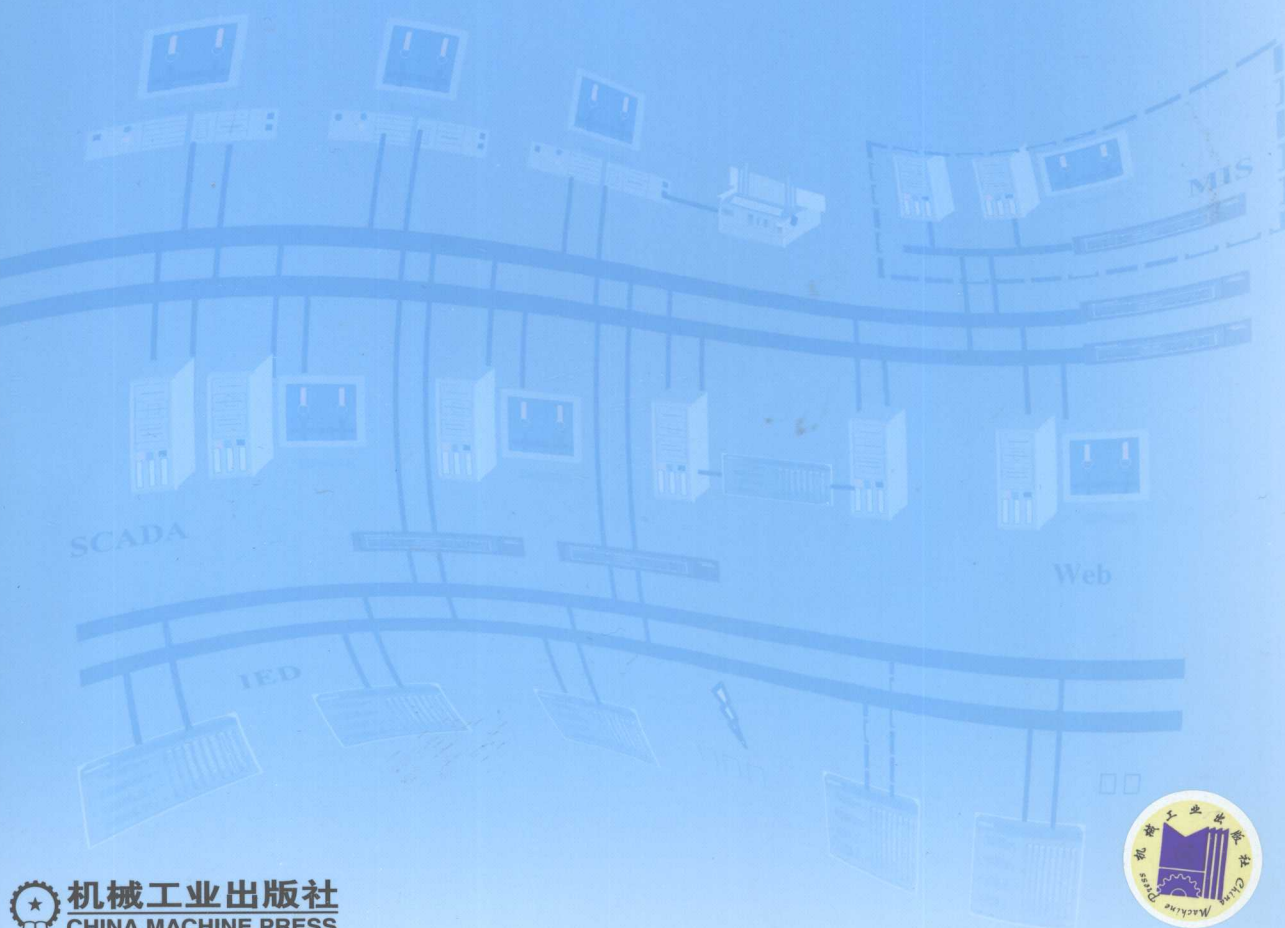


SCADA(监控与数据采集)软件系统 的

设计与开发

王振明 等编著



SCADA(监控与数据采集)软件 系统的设计与开发

王振明 等编著



机械工业出版社

本书系统而全面地介绍了 SCADA(监控与数据采集)软件系统的设计思想、系统架构、关键技术以及主要系统模块的设计开发,说明了与 MIS(管理信息系统)等相关系统的集成以及 SCADA 系统的安全性 with 功能扩展。本书以 SCADA 系统在电力、环境等行业的应用为背景,侧重实际设计与开发,通过较快熟悉 SCADA 软件系统的架构与设计思想,可以举一反三地将 SCADA 系统应用到供水、供气、石化、冶金、交通、楼宇等行业的监控调度中。本书可以作为自动化、信息技术应用等方面的技术开发人员的参考书,也可供自动化、计算机等专业本科生、研究生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

SCADA(监控与数据采集)软件系统的设计与开发/王振明等编著. —北京:机械工业出版社, 2009. 1

ISBN 978-7-111-25220-7

I. S… II. 王… III. ①监视控制—自动化系统—应用软件, SCADA—程序设计②数据采集—自动化系统—应用软件, SCADA—程序设计 IV. TP277 TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 152233 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:顾 谦 责任校对:闫玥红

封面设计:赵颖哲 责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20 印张·491 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-25220-7

定价:48.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379765

封面无防伪标均为盗版

前言

SCADA(监控与数据采集)系统是以计算机为基础的生产过程控制与调度自动化系统,它可以对现场的运行设备进行监视和控制,以实现数据采集、设备控制、测量、参数调节以及各类信号报警等各项功能。SCADA 系统可以应用到包括电力、航空航天、石油石化、钢铁冶金、供水供气、交通、环保、楼宇等众多行业领域。随着现代工业生产规模的日益扩大,工业自动化应用日益呈现规模化、复杂化和广域分布化的特性,随着信息技术的进步,SCADA 系统也一直处于不断完善、不断发展的过程之中。用户对 SCADA 系统的功能和结构都提出了更高的要求,同时各个应用领域对 SCADA 系统的要求不尽相同,不同应用领域的 SCADA 系统的发展也不相同,因此 SCADA 系统内容涉及广泛,技术更新迅速。

为了适应目前各行各业对 SCADA 系统日益增加的需求,本书基于 SCADA 软件系统的发展方向,结合读者需求,系统而全面地介绍了 SCADA 软件系统的设计思想、系统架构、关键技术以及主要系统模块的设计开发,说明了与 MIS(管理信息系统)等相关系统的集成以及 SCADA 系统的安全性 with 功能扩展。

本书假定读者已经熟练掌握 C/C++、Java 等编程语言,熟悉面向对象的设计与开发,了解软件工程思想。希望本书能够对 SCADA 系统的推广起到促进作用。

全书共分 12 章,主要内容介绍如下:

第 1 章是 SCADA 系统综述,主要介绍其概念、系统特点、功能、组成、典型应用与发展,并就 SCADA 系统与 DCS(分布式控制系统)进行了特征对比。

第 2 章是 SCADA 软件系统架构及设计,主要介绍 SCADA 系统的功能、设计思想、架构设计、主要组成以及开发集成等内容。

第 3 章是数据库系统,本章讲述的 SCADA 数据库系统由内存数据库与历史数据库等共同组成,它为 SCADA 系统各种应用提供了透明的数据访问。本章主要介绍关系数据库、内存数据库以及组态与维护系统的设计与开发。

第 4 章是分布式控制系统,主要介绍其系统功能、主要数据结构、主要功能类以及控制组态部分、分布式控制部分、状态监视部分的设计开发。重点说明了 CORBA 技术在分布式控制系统中的应用实现。

第 5 章是图形组态与监控界面系统,主要介绍图形组态与监控界面系统的功能、系统架构以及具体设计。同时对矢量图形、脚本语言以及 Web 应用系统等也进行了说明。

第 6 章是数据采集系统,本章主要介绍其功能、系统架构、具体设计以及相关关键技术等内容。

第 7 章是数据处理系统,数据处理系统负责对数据采集系统采集到的数据进行实时处理与加工,并为 SCADA 系统的最终用户提供远程监视控制各种现场设备的能力。本章主要介绍其功能、系统架构、具体设计以及相关关键技术等内容。

第 8 章是数据报表系统,本章主要说明数据报表系统的功能、总体设计以及 C/S 架构与 B/S 架构下数据表格的设计开发。

第9章是基于Web的SCADA系统,主要介绍基于Web的SCADA系统的概念、功能、架构设计、关键模块开发、安全机制以及相关的关键技术等内容。

第10章是SCADA与MIS的系统集成,主要介绍SCADA与MIS的集成技术,分别从专用接口、Web方式、OPC方式、中间件以及Web Services与SOA等方面进行说明。

第11章是SCADA系统的安全性,主要介绍SCADA系统安全性分析以及安全实现策略。

第12章是SCADA系统的功能扩展,本章主要说明传统的SCADA系统的功能扩展,主要以视频图像监控、GIS与GPS、移动监控三个方面的内容为例进行说明。

本书是编著者长期以来从事SCADA系统研发的总结。其中第1~4章,第7章,第10~12章由王振明编写,第5章由王振明、徐秀、周凤灵编写,第6章由王振明、徐秀编写,第8章由聂磊、王振明编写,第9章由韩赛、王振明编写。另外,徐学均、姜永红、王丽伟、林林、王振华、李科、杨传顺等人也参与了本书部分内容的编写、整理和审校工作,在此表示感谢!

最后需要说明的是,首先由于编著者水平和时间所限,其次由于SCADA系统应用广泛且发展迅速,编写很难面面俱到,很难照顾到不同计算机水平的各类读者,书中还有很多不足之处,真诚地欢迎有关专家、读者提出批评建议,以便进一步修订,同时欢迎大家交流讨论,为SCADA系统的发展尽心尽力。作者的E-mail: wang_zhenming@163.com。

谨以此书献给我的父母、妻子和儿子。

编著者

2009年1月于北京

目 录

前言

第1章 SCADA 系统综述 1

1.1 SCADA 系统的基本概念 1

1.2 SCADA 系统的发展 1

1.3 SCADA 系统的特点 3

1.4 SCADA 系统的功能 4

1.5 SCADA 系统与 DCS 的特征对比 4

1.5.1 SCADA 系统的应用特征 4

1.5.2 SCADA 系统的实时数据库 6

1.6 SCADA 系统的典型应用 9

1.7 关于本书 10

第2章 SCADA 软件系统架构及设计 11

2.1 概述 11

2.2 SCADA 系统功能 11

2.2.1 数据采集 11

2.2.2 数据处理 11

2.2.3 控制和调节 12

2.2.4 报警处理 12

2.2.5 系统时钟同步 13

2.2.6 人机界面功能 13

2.2.7 组态功能 13

2.2.8 安全管理 13

2.2.9 系统的可维护性 13

2.2.10 历史数据和报表处理 13

2.2.11 分布式控制功能 14

2.2.12 设备管理及监视功能 14

2.2.13 实时处理功能 14

2.2.14 二次开发功能 14

2.2.15 提供与相关系统集成的接口功能 14

2.2.16 对 Internet/Intranet 的信息发布 15

2.3 SCADA 系统设计理念 15

2.3.1 软件工程思想 15

2.3.2 符合行业需求 16

2.3.3 注重安全性与可靠性 16

2.3.4 标准化与开放性 17

2.3.5 分层分布式设计 18

2.3.6 架构与模式设计 20

2.3.7 跨平台设计 21

2.4 SCADA 系统架构设计 21

2.5 系统主要组成 24

2.5.1 数据库系统 25

2.5.2 分布式控制系统 25

2.5.3 图形组态与监控界面系统 25

2.5.4 数据采集系统 26

2.5.5 数据处理系统 26

2.5.6 数据报表系统 26

2.5.7 基于 Web 的 SCADA 系统 26

2.5.8 SCADA 系统对外集成接口 26

2.5.9 SCADA 系统的安全性 27

2.5.10 SCADA 系统的功能扩展 27

2.5.11 工程管理程序系统 27

2.6 系统设计与开发 27

2.7 相关系统集成与功能扩展 28

第3章 数据库系统 30

3.1 概述 30

3.2 系统功能 30

3.3 数据库系统设计综述 32

3.4 关系数据库设计 33

3.4.1 关系数据库及表的创建 33

3.4.2 数据库的组态与维护 40

3.4.3 关系数据库访问接口 41

3.5 实时数据库综述 45

3.5.1 实时数据库定义 45

3.5.2 实时数据库特征 46

3.5.3 实时数据库应用	47	5.3.2 常用矢量图形文件格式标准	99
3.6 内存数据库设计	47	5.3.3 三维图形规范	100
3.6.1 内存数据库的创建	47	5.4 系统架构	101
3.6.2 内存数据库管理系统	50	5.5 图形组态系统具体设计	105
3.6.3 内存数据库访问接口	57	5.5.1 组态系统开发实例说明	105
3.6.4 内存数据库组态与维护	57	5.5.2 系统组成说明	114
3.7 数据库访问服务中间件	58	5.6 图形监控界面系统具体设计	125
3.8 关键技术	59	5.6.1 图形显示子系统设计	125
3.8.1 数据库设计过程	59	5.6.2 实时报警设计	128
3.8.2 数据库设计范式	60	5.6.3 曲线设计	129
3.8.3 存储过程与触发器	61	5.6.4 Web 应用系统设计	130
第4章 分布式控制系统	62	5.7 关键技术	137
4.1 概述	62	5.7.1 设计模式	137
4.2 系统功能	62	5.7.2 Web 2.0 与 Ajax 技术	138
4.3 主要数据结构设计	64	5.7.3 脚本语言	144
4.3.1 主要定义说明	64	5.7.4 双缓冲画图技术	152
4.3.2 主要通信报文说明	65	第6章 数据采集系统	155
4.3.3 主要功能类设计	67	6.1 概述	155
4.4 系统设计及开发	68	6.2 系统功能	155
4.4.1 控制组态部分	68	6.3 系统架构	156
4.4.2 分布式控制部分	70	6.3.1 系统架构简介	156
4.4.3 状态监视部分	72	6.3.2 系统组成	156
4.5 关键技术	73	6.4 系统设计	158
4.6 基于 CORBA 的分布式控制 系统	75	6.5 关键技术	162
4.6.1 CORBA 应用概述	75	6.5.1 数据通信技术	162
4.6.2 CORBA 组件及其开发过程	76	6.5.2 内存共享技术	176
4.6.3 基于 TAO 的 CORBA 实现	78	6.6 小结	179
4.7 分布式控制系统中 CORBA 的应用实现	82	第7章 数据处理系统	180
4.7.1 主要应用实现方法	82	7.1 概述	180
4.7.2 方案2的设计实现	83	7.2 系统功能	180
4.8 冗余容错系统中 CORBA 的 应用实现	89	7.3 系统架构与设计	181
第5章 图形组态与监控界面系统	95	7.3.1 数据处理主要线程	181
5.1 概述	95	7.3.2 数据转发程序	184
5.2 系统功能	95	7.4 关键数据结构	184
5.3 矢量图形	98	7.4.1 系统的常量定义	184
5.3.1 国际通用标准	98	7.4.2 数据处理类定义	185
		7.5 关键技术	186
		7.5.1 多线程技术	186
		7.5.2 回调机制	190

第 8 章 数据报表系统	198	10.5 基于 OPC 方式的集成	247
8.1 概述	198	10.5.1 系统结构	248
8.2 系统功能	198	10.5.2 具体设计	248
8.3 总体设计概述	198	10.6 基于中间件方式的集成	251
8.4 C/S 架构数据报表的开发	199	10.6.1 综述	251
8.4.1 利用 VB + Excel 开发	199	10.6.2 基于 CORBA 的系统集成	252
8.4.2 利用 Formula One 开发	204	10.7 基于 SOA 的系统集成	253
8.5 B/S 架构数据报表的开发	207	10.7.1 SOA 概述	253
8.5.1 水晶报表	207	10.7.2 Web Services 概述	254
8.5.2 Java 开源报表	215	10.7.3 SOA 与 Web Services 的关系	255
第 9 章 基于 Web 的 SCADA 系统 ..	219	10.7.4 基于 SOA 的集成实现	255
9.1 概述	219	10.8 小结	257
9.2 系统功能	219	第 11 章 SCADA 系统的安全性	258
9.3 系统架构设计	220	11.1 概述	258
9.3.1 J2EE 架构概述	220	11.2 系统安全性	258
9.3.2 Web Services 概述	222	11.2.1 安全性分类	258
9.3.3 使用 Web Services 的 Web SCADA 系统设计	225	11.2.2 功能安全	259
9.4 系统关键模块开发	227	11.2.3 人身安全及安规认证	259
9.4.1 监控图形显示	227	11.2.4 信息安全	260
9.4.2 数据采集与数据处理	230	11.3 SCADA 系统安全性分析	260
9.4.3 数据定时刷新	231	11.3.1 潜在的 SCADA 系统攻击者 及其动机	260
9.4.4 Web Services 实例设计	233	11.3.2 测控设备安全性	261
9.4.5 用户权限功能开发	236	11.3.3 通信网络安全性	261
9.5 系统的安全机制	237	11.3.4 控制中心安全性	261
9.5.1 网络连接的安全	237	11.4 SCADA 系统安全实现策略 ..	262
9.5.2 传输层安全技术	237	11.4.1 制定相关政策及法律法规	262
9.5.3 SOAP 安全性	238	11.4.2 信息安全技术	264
9.6 关键开发技术	239	11.4.3 远程终端单元和通信网络	266
第 10 章 SCADA 与 MIS 的系统集成 ..	242	11.4.4 控制中心的安全性	266
10.1 概述	242	11.4.5 加强技术培训	266
10.2 信息系统集成技术	243	11.4.6 借鉴国内外同行经验	267
10.2.1 企业应用集成	243	11.4.7 SCADA 系统安全的分层保证 ..	268
10.2.2 企业信息集成	243	第 12 章 SCADA 系统的功能扩展	270
10.2.3 基于 SOA 技术的应用集成	244	12.1 概述	270
10.3 SCADA 与 MIS 专用接口集成 ..	244	12.2 视频图像监控功能扩展	270
10.3.1 系统直接互连	245	12.2.1 系统互连概述	271
10.3.2 基于网关机的互连	245	12.2.2 系统互连分析	276
10.4 基于 Web 方式的集成	247	12.2.3 互连系统的构成	277

12.2.4 系统互连的设计实现	278
12.3 GIS 与 GPS 功能扩展	280
12.3.1 系统架构与设计	281
12.3.2 GPS 系统设计	282
12.3.3 GIS 与 GPS 扩展系统设计	282
12.3.4 GIS 与 GPS 扩展系统实现	290
12.4 移动监控功能	290
12.4.1 智能手机概述	290
12.4.2 WAP 协议	292
12.4.3 WAP 编程模型	296

12.4.4 WAP 中的 Push 技术	298
12.4.5 SCADA 移动监控扩展 功能的内容	300
12.4.6 移动监控功能扩展的体系 结构设计	300
12.4.7 系统关键技术的实现	301
12.5 总结与展望	306
参考文献	307
相关网址	309

第 1 章 SCADA 系统综述

1.1 SCADA 系统的基本概念

SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition, 监控与数据采集)系统,是以计算机为基础的生产过程控制与调度自动化系统,它可以对现场的运行设备进行监视和控制,以实现数据采集、测量、各类信号报警、设备控制以及参数调节等各项功能。它在国内的流行叫法为监控组态软件,有时简称组态软件。有文献认为组态软件是指在软件领域内,操作人员根据应用对象及控制任务要求配置用户应用软件的过程,简言之,组态软件是“应用程序生成器”,这种说法比较准确地阐述了这一概念的内涵。也有文献指出“组态软件是工业自动化系统的人机界面,是一种软件平台”,这一说法说明了“组态软件”的外延,即它主要用在人机界面的设计上。相对于下面提到的狭义的组态软件的概念来说,此处的组态软件可以说是其广义上的概念。

为了便于说明,本书中所指的组态软件看成是狭义上的组态软件的概念,即作为 SCADA 系统的组成部分,主要包括监控界面组态、数据库组态、分布式控制组态、报表组态、通信组态等。通过以上各个软件子系统的组态,构造整个 SCADA 的运行系统,从而完成数据采集与监视控制功能。这是当前 SCADA 系统从构建到运行的主要模式,本书正是按照这一思想来进行说明的。

SCADA 系统将先进的计算机技术、工业控制技术、显示技术、通信技术(有线通信和无线通信等)、RTU(Remote Terminal Unit,远程终端单元)/PLC(Programmable Logic Controller,可编程序控制器)技术、测量技术、现场总线技术等结合在一起,采用了 $N(N \geq 2)$ 层客户机/服务器结构或者浏览器/Web 服务器/数据库服务器软件架构。一般说来,全部 SCADA 系统主要由位于监控调度中心的 SCADA 软件系统、位于现场监控站的各远程终端单元(RTU/PLC)以及连接它们的通信系统(有线、无线、光纤、扩频、微波、卫星等)组成。

其中,SCADA 软件系统是本书所要介绍的主要内容,它一般主要包括数据库系统、分布式控制系统、图形组态与监控界面系统、数据采集系统、数据处理系统、数据报表系统 etc。同时,随着信息技术的发展,SCADA 系统需要涉及到自身的系统架构更新、系统安全、功能扩展以及与 MIS(Management Information System,管理信息系统)等相关系统的集成等问题。

1.2 SCADA 系统的发展

早期的 SCADA 系统运行于 DOS、UNIX、VMS 操作系统中,现在多数运行在 Windows、UNIX 以及 Linux 操作系统中。SCADA 系统可以应用到包括电力、石化、钢铁冶金、供水供气、隧道交通、环保、航空航天、楼宇、食品、医药、建筑、科研等众多领域。随着现代工

业生产规模的日益扩大,工业自动化应用日益呈现规模化、复杂化和广域分布化特性,同时随着信息化时代的到来,使得用户对 SCADA 系统的功能和结构都提出了更高的要求,而 SCADA 系统也一直处于不断完善、不断发展的过程之中,同时由于各个应用领域对监控的要求不同,所以不同应用领域的 SCADA 系统发展也不完全相同。

SCADA 系统的发展与计算机技术的发展紧密相关,到今天已经经历了三代。

第一代 SCADA 系统起源于 20 世纪 70 年代,一般采用专用计算机和专用操作系统。如电力自动化研究院为华北电网开发的 SD176 系统以及日本日立公司为我国铁道电气化远动系统所设计的 H-80M 系统。

第二代 SCADA 系统出现在 20 世纪 80 年代,开始时基于通用计算机技术,广泛采用 VAX 机和 PDP 机,操作系统使用 UNIX 或类 UNIX 系统。由于计算机价格昂贵,所以一般采用集中控制,计算机用量少,同时由于技术复杂、系统不具有开放性,少有人熟悉,系统维护升级、设备改造更新、多系统网络互连、多系统信息交换都非常困难,甚至于成为了不可能。

第三代 SCADA 系统出现在 20 世纪 90 年代,其通信部分基于网络技术,管理部分结合数据库技术,控制系统采用通用小型微型计算机或使用单片机,网络协议开放,易于多系统间互连,数据库可以帮助管理人员储存大量数据,从而进行数据挖掘、运行分析等工作。采用通用小型微型计算机,使系统价格急剧下降,为使用者节省了大量的资金。系统维护简单,易于更换和升级,有利于系统的长时间不间断运行。

随着技术的飞速发展,第四代 SCADA 系统逐渐成熟,Internet、FCS、GSM、GPRS 等网络技术的采用,GIS、GPS、面向对象技术、神经网络技术以及 Java 等技术的融入,Windows、Linux、RTOS 等软件的使用,SQL、ODBC、OPC 等标准的完善,全都预示着第四代 SCADA 系统将会更加适合社会需求,更加广泛应用于各个领域。

在电力系统中,SCADA 系统应用最为广泛,技术发展也最为成熟。它作为能量管理系统(EMS)的一个最主要的子系统,已经成为电力调度不可缺少的工具。它对正确掌握电力系统运行状态,快速诊断出系统故障状态,提高电网运行的可靠性、安全性与经济效益,减轻调度员的负担,实现电力调度自动化与现代化,提高调度的效率和水平等方面有着不可替代的作用。

SCADA 系统在铁道电气化远动系统上应用较早,由于电气化铁道与电力系统有着不同的特点,在 SCADA 系统的发展上与电力系统的道路并不完全一样。但是同样在保证电气化铁路的安全可靠供电、提高铁路运输的调度管理水平方面起到了很大的作用。在铁道电气化 SCADA 系统的发展过程中,随着计算机的发展,不同时期有不同的产品,同时我国也从国外引进了大量的 SCADA 产品与设备,这些都带动了铁道电气化远动系统向更高的目标发展。

SCADA 系统在不断完善、不断发展,其技术进步一刻也没有停止过。当今,随着各行各业对 SCADA 系统需求的提高以及计算机技术的发展,为 SCADA 系统提出了新的要求,也带来了新的发展机遇。

首先,为全面进入传统 SCADA 的高端系统市场,各厂家都在自身组态软件系统的基础上进行了不同方向的升级。在国外,Wonderware 公司于 2003 年建立在 Invensys 的 ArchestrA 体系结构之上的工业应用平台(Industrial Application Server, IAS)就是其中一例。Invensys 的 ArchestrA 是一个强大的工厂自动化与信息体系结构,在 InTouch 的基础上推出了对象数据库

组件,利用面向对象软件技术来延长传统系统的寿命。而 IAS 简化了分布式自动化应用程序的开发、部署、维护及管理,从而具备了很大程度上的重用性、扩展性、易维护性。

面向对象技术和系统集成技术的发展深刻影响着以组态软件为主的 SCADA 系统,其中面向对象的思想已经不仅仅局限在软件设计领域,而是快速蔓延到系统设计和工程实施方面,这从 2005 年进入我国的最新国际标准 ISO 15745—2003《工业自动化系统和集成开放系统应用集成框架》中可以看的非常明显。同时,组态软件厂家也本着充分发挥各类先进、成熟技术在各自领域的特点和优势的思想,越来越多地开始集成别家可用的软件组件,比如 Intellution iFix 和 Citect 等就使用集成技术提供了 VBA 脚本的编程能力,从而使对二次开发能力的支持更强。

SCADA 系统是 MIS(Management Information System,管理信息系统)、OA(Office Automation,办公自动化)、GIS(Geographic Information System,地理信息系统)、MES(Manufacturing Execution System,制造执行系统)以及 ERP(Enterprise Resource Planning,企业资源计划)等系统的实时数据源,所以 SCADA 系统如何更好地实现与上述各个系统的连接与广泛集成早已成为需要其研究解决的重要课题。

运用专家系统、模糊决策、神经网络等新技术,通过模拟现场设备系统的各种运行状态,开发调度辅助软件和管理决策软件,由专家系统根据不同的实际情况推理出最优化的运行方式或方法,以达到合理、经济地运行调度管理,提高效率也是 SCADA 系统一个很好的发展方向。

面向对象技术、网络技术以及 Java 技术等和相关行业的 SCADA 系统中都已得到了广泛的应用,随着 Internet 技术的发展,目前,SOA、Web Services 等技术也已逐渐推广应用到 SCADA 系统之中。

1.3 SCADA 系统的特点

1. 实时性与多任务性

SCADA 系统的实时性与多任务性是其重要特征之一,当然根据行业的不同,SCADA 系统对实时性与多任务性的要求也不一样,例如航天、电力等领域对实时性要求很高,而环境、供水供气等行业对实时性要求较低。

2. 开放性

SCADA 系统大多遵循国际标准或者行业标准,满足开放性的要求。系统的软件多采用全开放式的体系结构,系统具有良好的扩展能力,也有利于更好地与其他相关系统的连接与广泛集成。

3. 分布性

SCADA 系统多采用分布式的功能设计和网络结构,采用 C/S、B/S 等模式分布于网络中,支持和管理网络中各自独立的处理节点,实现数据共享功能。

应用软件按功能分配到网络的服务器和工作站上,充分优化各节点资源,保证系统的负荷均衡和网络负荷最小化。

4. 可靠性与安全性

SCADA 系统关键节点以及重要的功能单元采用冗余配置,保证整个系统功能的可靠性

不受单个节点或单元故障影响。

系统具有隔离故障功能,切除故障不会影响各节点的运行。系统可设置软、硬件防火墙,以达到有效杜绝病毒和黑客侵入的目的。

系统应具有系统恢复措施,以保证在系统有故障时,能尽快地恢复系统运行。系统应具有高度的安全保障和完善的权限管理,保证数据的安全和保密性。

5. 可维护性

SCADA 系统应当有完善的维修服务支持,以便于系统投入运行后能得到可靠的维修服务。支持在线远程诊断功能,可以在远方通过电话线等网络设施诊断系统的运行情况。

1.4 SCADA 系统的功能

SCADA 系统是以计算机为基础的生产过程控制自动化系统,按照监控对象以及系统需要进行数据组态、图形组态、分布式控制组态、通信组态以及报表组态等,快速完成对整个监控系统的组建,以对现场的运行设备进行监视和控制,实现数据采集、显示、报警、设备控制以及参数调节等各项功能。

SCADA 系统不仅要实现对现场生产过程的数据采集、处理与监控,同时 SCADA 系统也是管理信息系统、办公自动化、地理信息系统、制造执行系统以及企业资源计划等系统的实时数据源,需要具备良好的开放性,以实现与上述系统的数据交换和系统集成。

在 SCADA 系统中可变因素是很多的:一是行业监控需要的不同;二是监控对象的不同或监控对象的变化及工控系统硬件的变化,而 SCADA 系统需要以不变应万变,其执行代码一般是固定不变的,为适应不同的应用对象只需改变数据实体(数据库文件、图形文件、报表文件等)即可,这样既提高了系统的实施速度,又保证了系统软件的成熟性和可靠性,使用起来方便灵活,而且便于修改和维护。

本书第 2 章将对 SCADA 系统功能进行详细说明。

1.5 SCADA 系统与 DCS 的特征对比

DCS(Distributed Control System,分布式控制系统)融计算机技术、控制技术、通信网络技术、图形显示技术于一体,在结构上将管理监控、实时控制、数据采集等功能分散到不同的计算机中,再通过通信网络将它们连接起来,组成一个有机的整体。它是在集中式控制系统的基础上发展、演变而来的,是一种以分散的数据采集、控制和集中的监视管理为主要结构特征的计算机控制系统。这种分级分布式的计算机系统实现了集中管理与分散控制相结合,性能稳定、可靠性高、易于操作和维护。本节将从应用特征与实时数据库两个主要方面进行 SCADA 系统与 DCS 的特征对比说明。

1.5.1 SCADA 系统的应用特征

1. 数据规模大

现代 SCADA 是建立在 DCS 之上的系统,因此其监视范围其实就是多个 DCS 的监视范围。一个典型 DCS 的监控点数一般为几千个,而 SCADA 系统的监控点数从数百个点到数万

个点不等, 高端的一般应在 10 万个 I/O 点以上。数据规模的扩大使一些 DCS 中常用的技术(比如周期处理方式)变得不再有效, 因此“事件驱动”成为 SCADA 系统的主要处理方式, 同时数据库系统的组织结构也与 DCS 数据库不同。

2. 系统网络不可靠

SCADA 的系统网络潜在地建立在一个慢速的或窄宽带的、不可靠的通信介质上, 因此需要在数据库中维持“最后一次好数据”提示给操作员显示, 也需要频繁地做某些事件处理和数据质量确认。在数据库中, 一个实时值通常应描述为一个 <时标, 质量, 值> 的三元组。操作员看到数据的“质量”在 SCADA 系统中占有重要地位。SCADA 系统需要经常提供特定的“事件”处理机制来处理在数据采集周期之间出现的异常。

SCADA 与现场通信必须采用带安全性的措施, 通信失效时必须合理地操作。数据库系统必须提供这种安全性控制。

3. 监视对象的角度与 DCS 不同

DCS 主要关注过程趋势, 而 SCADA 更关注过程事件。以状态变化(包括状态点和模拟量点导致的报警)作为系统处理的基础、驱动数据的汇集和表现系统的当前运行状态, 任何状态变化都不能丢失。这首先反映到了现场设备, 偏重于快速扫描开关量; 其次在规约级, 对状态变化(COS)和事件顺序(SOE)的传送上通常给出了比模拟量扫描更高的优先级。

4. 展现监控对象的角度与 DCS 不同

SCADA 的操作员对现场的观察角度更偏重以实际物理设备(如水泵、电动机及开关等)为单位的状态(而不是 I/O 点), 了解经综合和加工后的设备信息。比如对水泵这样一个设备对象, 站在 SCADA 操作员的视角, 已经不再关心水泵该不该启动、出水流量是多少、流速是多少, 因为这都是底层 DCS 或 PLC 系统处理的事情, SCADA 更关心的是水泵什么时间启动/停止、连续运行了多长时间、起/停次数等, 必要时才查看更底层的信息。SCADA 当然也有能力将这些实时信息进一步加工, 比如根据上述信息推算出水泵的使用寿命, 为设备维修提供参考数据, 当然这步工作也可以放到工厂综合信息系统中的设备管理系统中实现。

5. 报警和事件处理

一般不认为 DCS 有报警和事件的管理功能, 它只是产生报警和事件, 并把报警和事件信息如实通知操作员并进行适当的存储和记录。

报警和事件管理功能大致包括以下三方面:

- 1) 报警组合条件查询;
- 2) 报警分析和过滤;
- 3) 为操作员处理报警提供操作指导。

扩展的报警通知功能, 除普通的向控制室内发声光报警、自动打印外, 还能对某些报警向相关的人发送等。

SCADA 的数据库系统提供支持上述管理功能的机制和手段。

6. 系统定制能力

SCADA 系统应用场合定制设计的成分比 DCS 大, 特别是功能的定制。一个 SCADA 工程一般是在一个软件平台基础上先进行一次功能设计和开发(当然类似工程可能省略这一步), 然后再实施工程配置, 因此 SCADA 供应商一般是不提供产品的, 而是提供服务。而 DCS 工程在一个好的组态软件基础上就可以进行工程实施, 尽管也编一些脚本程序, 但基本

不增加新的功能。

以上 SCADA 系统的应用特征对数据库系统归结起来形成以下三种主要的设计约束:

- 1) 庞大的实时数据量;
- 2) 品质不高的系统网络;
- 3) 应用开发接口。

由此而产生的基本对策是:

- 1) 事件驱动式的功能调用;
- 2) 带安全校验的数据通信规约;
- 3) 层次化的数据库组织;
- 4) 面向对象(设备对象或功能对象)的二次开发接口。

上述约束条件和对策的实施主要表现在实时数据库和报警/时间处理两方面。

另外,由于 SCADA 系统是面向数据汇集型的处理系统,所以对服务器的稳定性和可靠性要求很高,而且 SCADA 是比 DCS 更早发展起来的系统,因此目前大型、成熟的 SCADA 应用依然是建立在 UNIX 服务器平台的基础上的。UNIX 具有执行效率高和稳定性好的优势,但其本身也存在版本多的现象,几乎每个大的服务器厂商都有自己的 UNIX 版本,这些版本之间也存在兼容性问题,应用程序从一个 UNIX 版本换到另一个时,都要经过一次编译并充分测试后才能执行,这给用户选型带来了一定限制,因此基于 Windows 的 SCADA 系统也逐步发展起来。

1.5.2 SCADA 系统的实时数据库

SCADA 系统的实时数据库的主要表现特征是实时、层次化、对象化和事件驱动。

从 SCADA 系统操作员的角度,采用层次型数据库似乎更为自然合理,更符合自然生活中的管理机制。SCADA 系统关心的是与每个“点”相关的“组织”的整体形态,最终映射在设备或设备系统上。而 DCS 关心的是具体生产控制过程,具体就映射到每个“点”上。

当然在实际应用中,也存在一定程度的“网状”现象,比如,操作员中的运行人员和维修人员关心的角度也不一样,这些差异通过数据库的物理视图和逻辑视图之间的映射实现。SCADA 数据库的物理组织主要以运行监控人员的视点实现。

下面说明面向对象层次型数据库中的主要概念和实现技术。

1. 对象

对象是数据库中一个特定的结构,表示监控对象实体的内容,由项和方法组成。项是实体的一些特征值和组件,注意项的类型中增加了组件类型,表明了一个对象的类中可以包含其他对象的实例,这一点正是对象化层次数据库的基础。其方法表示实体的功能和动作。

对象表现任何现场设备,比如电力开关、刀开关、风机、水泵及阀门等,或 SCADA 系统的逻辑设备(如计算机、进程等),是数据库中可直接寻址的实体。

一个对象实体如果可以作为另一个对象的组件,这个对象就称为所从属对象的子对象,子对象一般对外界是不可见的,因此不同对象的子对象可以重名,就像文件系统中不同目录下的文件允许重名一样。不可见特性有利于对象的复用,这使得能够一次复制一个数据库分支,而只要把根对象的名字改一下就可以创建新的对象,因此便于提高数据库组态和图形组

态的效率,减少错误。比如,在画面上有几个相同的电力开关对象,只要分别指定其各自设备对象名就可以了,无须对开关对象下面的每个 DI 或 DO 再一一指定名字了。当然 SCADA 系统并不拒绝简单的信号点,比如,电厂里面的“机组发电量”,可以把它作为一个纯粹的全局/点变量(像 DCS 中的一样),也可以把它作为从属于“机组”这一设备对象的变量。

2. 变量

变量是构成对象的最基础的组件,也就是 DCS 系统中的点或变量,它用于保存实时数据。变量也是数据库中可直接寻址的最小实体。一个对象可以具有 $0 \sim N$ 个变量用于监视和控制,在树形层次化数据库组织中,变量作为“叶子”节点存在。

变量可以看作数据库中的特殊对象,具有简单而固定的结构,以及内置在 SCADA 数据库系统中的固定的方法实现。变量当然有不同的变量类型,就像 DCS 系统中的离散型变量、整数型变量、实数性变量一样。

变量中含有少量的参数信息,典型的如 AI 中有“量程”、“单位”、“表示精度”等。变量与对象的关系就像文件系统中的目录与文件的关系。

3. 属性

属性是对象或变量中的参数数据,相当于关系数据库中记录的字段。每个对象或变量中都可以定义 $0 \sim n$ 个属性,属性值一般是静态参数,如“点说明”、“报警上限”、“报警级”等,也可以是动态数据。

在层次化数据库中,不仅在记录(元组)一级是层次化的,在属性一级也可以是层次化的。也就是说,属性的值不仅可以是整数、浮点数、布尔量和定长字符串等简单的数据类型(通称标量),还可以是矢量和表。

矢量是具有相同数据类型的一组值(相当于简单类型数组)。表是具有相同结构的一组值(相当于结构类型数组)。

上述机制使得 SCADA 应用中几乎所有表结构都可以统一到层次化数据库的统一框架中。

4. 类和模板

在面向对象程序设计中,“类”是一组具有公共属性和方法的对象的抽象体,每个对象都是类的一个实例。

“模板”可以视为对象的第一个实例,它不仅继承了类的全部属性结构,也保存了类对象公共的默认值。

在面向对象数据库中,从模板创建对象的好处是很明显的,可以在组态时减少大量重复的录入和复制工作。比如,对一类电力开关对象,在监视画面上显示都要求用“红色”标示“分位”,“绿色”标示“合位”,那么只要在模板中设置一次就可以了,同样如果要求组态修改某个公共属性的值,也只需要修改一次,无须再对每个开关对象一一设置或修改。

与变量不同的是,对象的类或模板对 SCADA 的二次开发及用户是开放的,可以定义或通过从已有的类或模板集成的方式增加新的类或模板,从而增加新的系统功能。

5. 层次化和对象化

以层次化和对象化建立起来的数据库模型有如下好处:

1) 它是真实世界中各种实体、组织结构和逻辑关系在计算机的模拟,便于操作员在一个熟悉的环境中对受控系统进行监视和浏览;

2) 符合自顶向下、分层分布式控制等系统设计思想。当一个操作员的监控范围达到上

万个 I/O 点时,信息分层、逐步细化可能是保证监控效果惟一有效的方式;

3) 借助面向对象设计的优点,通过对对象的封装、继承特性实现系统功能的扩展,有助于提高二次开发效率和系统的稳定性,对应用代码的版本维护也十分有利。

在层次化结构中,实际在对象与对象之间,对象与变量中间存在两种层次关系。比如,电网调度系统中,对一个变电站,一个开关本体由若干个遥信量(DI)和遥控量(DO)组成,这种开关无论放到那里,这种层次组合关系都不会改变;而对于这种开关的上一级对象,比如就是这个变电站本身,所包含的开关个数就可能不同。这两种层次关系是有区别的,可以这么说,前一种层次关系是在“系统设计”阶段确立的,后一种层次关系是在“工程设计”阶段确立的。

层次性数据库的实现技术其实与文件系统非常相似。比如,在物理组织上一个 SCADA 数据库系统的点空间往往不只由一个数据库表空间组成,而是多个,将来自不同系统的实时数据在物理存储上分开。

6. 寻址方式

一般 SCADA 数据库的实时数据的寻址方式有以下三种:

- 1) 相对寻址,大致相当于文件系统中的全路径寻址。数据库对象(点)标识为:路径名.属性名,路径名中包含数据库标识和上层对象标识。
- 2) 绝对寻址,数据库对象(点)标识为:别名.属性名。
- 3) 直接寻址,数据库对象(点)标识为:点号.属性名(号)。

7. 存储方式

由于 SCADA 系统容纳的数据量巨大,相当一部分配置数据或实时性要求不强的动态数据可以保存在硬盘上的。SCADA 数据库的处理方式一般是在组态时由用户/工程人员指定数据的驻留地,如果是指定在硬盘上,数据库装载时就不装载这部分数据到内存。内存主流的数据按用户指定的时间间隔自动转存快照文件。

8. 事件驱动

SCADA 软件是事件驱动的,一个状态变化事件引起系统产生所有报警、时间、数据库更新,以及任何关联到这一变化所要求的特殊处理,这些特殊处理的根据是对这一变化的识别(包括模拟量报警)。

SCADA 数据库采用“逢变则存”的方式。模拟量数据是通过定义门限值来判定状态变化的。门限值可以看作量程的一个百分比,通信或采集程序对每次得到的数据值与数据库当前存储的值进行比较,只有在变化幅度超过门限值时才对数据库刷新,每次数据库刷新都产生一个事件。开关量数据每变位一次,就产生一个事件,并刷新数据库。

数据库刷新事件通过集成到数据库中的计算引擎执行用户定制的应用功能。这种机制类似于关系数据库中的“触发器”,每当新的数据(不管是来自采集系统、操作员输入,还是某个应用)被写进数据库时,它都自动执行一遍。计算引擎用来配置广泛的处理功能。

- 1) 计算平均值、合计值、效率及性能;
- 2) 通过采集系统数据库对象与现场站或其他数据源间建立连接;
- 3) 数据库对象后续的报警处理;
- 4) 指定数据库对象的历史收集方式。